中華農業研究 (Jour. Agric. Res. China) 49(3): 1～13 (2000)

水稻非破壞性葉面積估算模式之準確度及應用性的比較[1]

陳烈夫[2]　呂秀英[3]　魏夢麗[3]　呂椿棠[3]

摘要：葉面積是作物生理及農業研究上表示作物生長潛能最有效的測量項目。葉面積估算模式的發展必須建立在可信且快速的非破壞方法。本研究之目的在檢測二十四種水稻葉面積估算模式。這些模式都是利用一些田間非破壞性可測性狀（如葉長、葉寬）乘以某個葉面積係數(K)來估算出全株葉面積，但不同模式之葉面積係數K的量度方式不儘相同。有些模式是同時測量葉長及最大葉寬，而有些則是僅測量葉長而已；有些模式需要測量植株上的所有葉片，另有些則僅利用到部份葉片。本研究以台稉8號、台稉9號、台稉10號及台農67號四個水稻品種爲試驗材料，以進行模式的估算、驗證與評估。由試驗結果得知，雖然不同節位不同分蘗的葉片都有其個別K值的模式，其用以推估全株葉面積的預測能力最準確，但卻最耗時費工。縱然水稻劍葉和下位葉的葉相往往有差異，但似乎不需要區分劍葉和下位葉有不同的K係數。最適模式的選擇主要決定於試驗探討之目的，若擬評估的基因型數甚多（例如育種施行程序中的試驗），可以利用所有葉片的葉長和最大葉寬直接乘以一個0.71的平均K值來共同估計四個水稻品種的全株葉面積，此係數與基因型種類無關。若參試基因型有限但取樣植株很多時（例如評估環境因素對生長之影響），使用更省工省時的模式是有必要的，像是僅利用部份葉片（所有下位葉、第2~4葉、第2~3葉等）之葉長與最大葉寬的簡便模式來推估水稻全株葉面積，甚至於僅測量所有葉片或僅測量所有或前三片下位葉之葉長的簡便模式。但愈是操作簡單迅速的方法，其預測葉面積的準確度不免降低。在田間實際操作時，葉長的測量會比最大葉寬簡單且準確得多，同時有利於估算未完全展開葉片的葉面積。

關鍵詞：水稻、葉面積、非破壞性測量、預測準確度、模式。

前　言

葉面積是表示作物生長潛能最有效的測量項目，育種家可根據葉面積指數的大小來選擇生長潛能大的品種，而生理學家也可以藉著葉面積的變化及大小，來模擬作物生長的模式及利用太陽能的效率。但是直接測量葉面積不僅會破壞植株，而且非常耗費時間和人力，而限制了試驗的規模及取樣的大小。葉面積估算模式的發展必須建立在可信且快速的非破壞方法上[9]。目前成功地利用線性測量的模式來預測葉面積的作物有玉米[5,9,10,15,19,24,26]、高粱[12,25,26]、狼尾粟[16]、珍珠粟[18, 19]、甜菜[14]、大豆[27]、綠豆

---

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第2031號。
2. 本所農場管理室助理。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。
3. 本所農藝系研究員、助理研究員及助理研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

[6]、花生[13]、向日葵[22]、食用美人蕉[11]、芋[2, 24]、水稻[17]等。這些模式都是利用統計方法探討葉面積和一些田間非破壞性可測性狀（如葉長、葉寬）間的關係，再配合迴歸模式有效而準確地估算出葉面積。其中最簡單的葉面積估算模式，是利用葉長及葉寬之乘積僅乘上某個係數(K)，例如Palaniswamy and Gomez[17]求出水稻的葉面積在乾燥及潮濕季節分別爲其葉長及葉寬的乘積之0.73與0.75倍。但是郭及李[3]指出，美國稻與與東方稻葉部性狀互有不同。因此除了要考慮葉面積生長可能受到環境效應影響以外，該葉面積係數K的大小在品種之間未必一致，亦即國外試驗研究所估得的K值，未必就適用於國內品種。再者，水稻在抽穗後不同節位葉片長度有明顯差異，一般而言水稻葉片長度以劍葉最短，第3葉最長，而且各節位葉片長度間的相對關係亦有明顯的品種間及期作間差異[4]。因此，同一水稻品種由劍葉或下位葉所估得的K值，可能不儘相同。由此可見，有關水稻葉面積估算模式之建立，其實更複雜於其他穀類作物，故有必要就其不同節位葉片及不同品種間的變異性再予詳細研究探討。然而，若是所建立之模式必須針對植株所有葉片都進行葉長及葉寬的測量，此或許可信度極高，卻相當耗時費力，在不嚴重影響準確度下，更簡易的模式是值得考慮的，例如僅測量某節位的葉片來估算全株葉面積。進而，使用葉長及葉寬測量所估得之葉面積係數，是無法有效估算出未完全展開葉片的葉面積，而且最大葉寬在田間實際操作時亦容易產生測量誤差，對此，模式或許可再考慮簡化到僅利用葉長測量。

本研究針對國內栽培面積最廣的台稉8號、台稉9號、台稉10號及台農67號四個水稻品種葉片生長的特性，提出二十四種不同的水稻葉面積估算模式，並利用兩年一期作之試驗資料進行模式預測準確度之驗證與應用性之評估，期能從中選出一個有效且簡易的模式，該模式不但能兼顧劍葉和下位葉之性狀差異，也能適用於未完全展開葉片之測量。水稻葉面積估算模式在不同品種間的變異性，本研究亦將一併探討。

材料與方法

一、試驗材料之栽培

本試驗分別於1999年及2000年一期作在行政院農業委員會農業試驗所農場田區進行，所使用之水稻材料爲國內栽培面積最廣的台稉8號、台稉9號、台稉10號及台農67號四個水稻品種。水稻栽培時之行株距爲30×15cm，採單本植，小區面積1.2×3m，重複三次，採用完全逢機區集設計。施用之肥料用量均爲$N:P_2O_5:K_2O$=150:58:90 kg/ha，其中氮肥60 kg/ha與磷、鉀全量以基肥施用，其餘之氮肥分兩次用爲追肥；栽培管理依慣行法爲之。

二、葉片性狀之調查測量

各水稻品種生長至齊穗期時，兩年分別自各小區逢機取樣5及10株，三重複，故1999年及2000年各取樣15及30株。將所有取樣植株分別區分主桿（0）及各分櫱（1,2…）後，再依節位自上而下將葉片再區分爲劍葉（第1）及第2、3、4、5…等葉。由於水稻葉片在摘下後很容易因水分蒸散而導致葉片捲曲，而使得葉寬不易準確測得，因此本研究將所有標記的葉片平鋪並黏貼於畫有3cm比例尺的白色壓克力板上，以高解析度數位相機(德國Agfa ePhoto 1680)將每一葉片的影像攝影存檔。然後，利用影像測量軟體(SigmaScan Pro)[23]讀取影像檔案並測量各葉片的葉長、最大葉寬及葉面積。利用最新發展的影像處理技術，不但能更快速且準確地測量葉片各項性狀[7]，同時其所測得的葉面積值與傳統的葉面積儀所得者之間的相關係數亦高達0.98[1]；葉片影像可建檔永久保存，有利於重複測量，也是運用影像處理技術於葉片性狀調查的優點之一。

三、模式之發展與驗證

二十四種水稻葉面積估算模式，列於表1。葉面積係數K由每株實際葉面積除以葉長和最大葉寬之乘積（模式LW1～LW12），或除以葉長估得（模式L1～L12）。模式LW1爲不同分櫱不同節位均各

表 1. 水稻葉面積的預測模式

Table 1. Predictive models[z] proposed for total leaf area of rice plant

Label	Model	Total leaf area/plant	Label	Model	Total leaf area/plant
LW1	$K_{L\times W}$(leaf-tiller level)	$\sum_{i=1}^{n_j}\sum_{j=1}^{m}K_{ij}\times L_{ij}\times W_{ij}$	*L1*	K_L (leaf-tiller level)	$\sum_{i=1}^{n_j}\sum_{j=1}^{m}K_{L,ij}\times L_{ij}$
LW2	$K_{L\times W}$ (leaf level)	$\sum_{i=1}^{n_j}(K_i\times\sum_{j=1}^{m}(L_i\times W_i)_j)$	*L2*	K_L (leaf level)	$\sum_{i=1}^{n_j}(K_{Li}\times\sum_{j=1}^{m}(L_i)_j)$
LW3	$K_{L\times W}$ (flag + lower)	$K_f\times\sum_{j=1}^{m}(L_f\times W_f)_j+K_l\times\sum_{j=1}^{m}(L_l\times W_l)_j$	*L3*	K_L (flag + lower)	$K_{Lf}\times\sum_{j=1}^{m}(L_f)_j+K_{Ll}\times\sum_{j=1}^{m}(L_l)_j$
LW4	$K_{L\times W}$	$K\times\sum_{i=1}^{n_j}\sum_{j=1}^{m}(L_i\times W_i)_j$	*L4*	K_L	$K_L\times\sum_{i=1}^{n_j}\sum_{j=1}^{m}(L_i)_j$
LW5	$K_{L\times W}$ (flag)	$K_f\times\sum_{j=1}^{m}(L_f\times W_f)_j$	*L5*	K_L (flag)	$K_{Lf}\times\sum_{j=1}^{m}(L_f)_j$
LW6	$K_{L\times W}$ (lower)	$K_l\times\sum_{j=1}^{m}(L_l\times W_l)_j$	*L6*	K_L (lower)	$K_{Ll}\times\sum_{j=1}^{m}(L_l)_j$
LW7	$K_{L\times W}$ (2nd leaf)	$K_{(2)}\times\sum_{j=1}^{m}(L_{(2)}\times W_{(2)})_j$	*L7*	K_L (2nd leaf)	$K_{L(2)}\times\sum_{j=1}^{m}(L_{(2)})_j$
LW8	$K_{L\times W}$ (3rd leaf)	$K_{(3)}\times\sum_{j=1}^{m}(L_{(3)}\times W_{(3)})_j$	*L8*	K_L (3rd leaf)	$K_{L(3)}\times\sum_{j=1}^{m}(L_{(3)})_j$
LW9	$K_{L\times W}$ (1st, 2nd leaves)	$K_{(1,2)}\times\sum_{j=1}^{m}(L_{(1,2)}\times W_{(1,2)})_j$	*L9*	K_L (1st, 2nd leaves)	$K_{L(1,2)}\times\sum_{j=1}^{m}(L_{(1,2)})_j$
LW10	$K_{L\times W}$(2nd, 3rd leaves)	$K_{(2,3)}\times\sum_{j=1}^{m}(L_{(2,3)}\times W_{(2,3)})_j$	*L10*	K_L (2nd, 3rd leaves)	$K_{L(2,3)}\times\sum_{j=1}^{m}(L_{(2,3)})_j$
LW11	$K_{L\times W}$(1st,2nd,3rd leaves)	$K_{(1,2,3)}\times\sum_{j=1}^{m}(L_{(1,2,3)}\times W_{(1,2,3)})_j$	*L11*	K_L (1st, 2nd,3rd leaves)	$K_{L(1,2,3)}\times\sum_{j=1}^{m}(L_{(1,2,3)})_j$
LW12	$K_{L\times W}$(2nd,3rd,4th leaves)	$K_{(2,3,4)}\times\sum_{j=1}^{m}(L_{(2,3,4)}\times W_{(2,3,4)})_j$	*L12*	K_L (2nd, 3rd, 4th leaves)	$K_{L(2,3,4)}\times\sum_{j=1}^{m}(L_{(2,3,4)})_j$

[z] K=leaf area coefficient, i=leaf position, j=tiller level, $\sum_{j=1}^{m}n_j$=total leaf number;
L_{ij}, W_{ij}=leaf length and maximum width of the ith leaf on the jth tiller;
L_{fj}, W_{fj}= leaf length and maximum width of the flag leaf on the jth tiller;
L_{lj}, W_{lj}= mean leaf length and maximum width of the lower leaves on the jth tiller.

有相異的K估值，故若以非破壞取樣時必須就不同分櫱各節位之葉片的長和寬分別乘上各自的K值，並予總計後才能估算出全株葉面積；模式L1與模式LW1類似，惟僅須測量所有葉片的葉長即可。模式LW2及模式L2爲不考慮分櫱變異下不同節位各有其K估值，但前者須多測量最大葉寬。模式LW3及模式L3則不考慮分櫱變異下劍葉和其他下位葉各自有其K值，因此模式中僅含有兩個K係數。模式LW4~LW12及模式L4~L12則更簡化到僅含有一個K係數，但所測量的葉位及葉數不儘相同：模式LW4和模式L4是不分節位利用所有葉片，以其葉長和最大葉寬（模式LW4）或葉長（模式L4）都乘上一個相同的K值以估算全株葉面積；模式LW5和模式L5是僅測量植株的劍葉以預測全株葉面積；模式LW6和模式L6則是利用下位葉來預測全株葉面積；模式LW7和模式L7是僅測量植株的第2葉（即第一片下位葉）以預測全株葉面積；模式LW8和模式L8是僅測量植株的第3葉（即第二片下位葉）來預測全株葉面積；模式LW9和模式L9是利用植株的第1、2葉（即劍葉和第一片下位葉）來預測全株葉面積；模式LW10和模式L10是利用植株的第2、3葉（即第一、二片下位葉）來預測全株葉面積；模式LW11和模式L11則利用植株的第1、2、3葉（即劍葉和第一、二片下位葉）來預測全株葉面積；模式LW12和模式L12則利用植株的第2、3、4葉（即第一、二、三片下位葉）來預測全株葉面積。利用模式LW1～LW4和模式L1～L4預測全株葉面積時必須測量所有葉片，而其他模式則僅需測量部份葉片即可。模式LW1所用到的葉數最多，且須區分葉片所在之節位及分櫱，及同時測量葉長和葉寬，爲最精確但費工的模式；而模式L5、L7、L8所用到的葉數最少，僅須分別用到第1（劍葉）、第2及第3葉，且只要測量葉長即可，爲最省工經濟的模式。

爲使所建立之水稻葉面積估算模式能更趨完善，將第一年之15株葉片測量資料作爲模式建立數據

(estimation data)以估算上述各模式中之葉面積係數K值，而利用第二年之30株葉片測量資料作爲模式驗證數據(validation data)以檢測各模式的預測準確度。

根據所預測的葉面積與實際測量的葉面積之間的離差，估算平均誤差(mean deviation) [2]、平均誤差率(mean percentage of deviation, %) [2]及預測誤差均方(mean squared error of prediction, MSEP) [8]。平均誤差、平均誤差率及預測誤差均方的計算公式如下：

$$MD = (\sum_{i=1}^{p} | TLAm_i - TLAe_i |) / p$$

$$MPD(\%) = (\sum_{i=1}^{p} | TLAm_i - TLAe_i | \times 100 / TLAm_i) / p$$

$$MSEP = (\sum_{i=1}^{p} | TLAm_i - TLAe_i |)^2 / p$$

式中TLAm爲實際測量的全株葉面積，TLAe爲由預測模式所估得的全株葉面積，p爲預測株數。

本研究之各項統計分析均依據SAS(Statistical Analysis System) [21]套裝統計分析軟體，於個人電腦建檔及運算。

結果與討論

一、模式的發展及估算

台稉8號、台稉9號、台稉10號及台農67號水稻品種利用第一年試驗資料各以不同葉面積預測模式所得之K係數估計值及其變異係數，列如表2。葉面積係數K由每株實際葉面積除以葉長和最大葉寬之乘積（模式LW1～LW12），或除以葉長估得（模式L1～L12）。

模式LW1定義不同分蘗不同節位的葉片均各有其相異K值，而根據葉位的差異，台稉8號、台稉9號、台稉10號及台農67號的葉面積係數分別在0.67~0.73、0.64~0.76、0.66~0.71及0.66~0.74之間。由模式LW1之K值估計結果，同一節位不同分蘗間的K值大致上均極爲相近，即水稻葉相似乎並不會因著生分蘗而異，因此應該可以進而將該模式簡化爲僅考慮節位變異的模式LW2。由模式LW2，四個品種不同節位的葉片K值均相近，分別在0.69~0.73、0.74~0.70、0.69~0.71及0.71~0.73之間。一般而言，水稻劍葉和下位葉的葉相有明顯之不同，因此將劍葉與下位葉區分開來，分別估計其葉面積係數，應該是適當的作法，故建立模式LW3。台稉8號之劍葉及下位葉的K估值分別爲0.73及0.70，台稉9號之劍葉及下位葉的K估值分別爲0.74及0.71，台稉10號之劍葉與下位葉之K估值皆爲0.70，台農67號之劍葉與下位葉之K估值皆爲0.71。模式LW3必須測量所有葉片，將所有劍葉之長寬乘積乘以劍葉K值所得到的預測葉面積，加上所有下位葉之長寬乘積乘以下位葉K值所得到的預測葉面積，才是所預測的全株葉面積。若不考慮劍葉與下位葉之間的差異性，全株所有葉片都建立一個共同的葉面積係數，則模式可進而簡化爲模式LW4。在模式LW4下，台稉8號、台稉9號、台稉10號及台農67號的葉面積係數K估值，分別爲0.71、0.72、0.70及0.71。若能僅測量某節位的葉片來估算全株葉面積，當可節省更多人力和時間，例如僅利用單一葉片（LW5、LW7、LW8）、兩片葉（LW9、LW10）、三片葉（LW11、LW12）或所有下位葉（LW6）推估全株葉面積的簡易估算法。顯然，利用單葉之估算模式所得的K值，較利用多葉之估算模式所得的K值均有較高的CV值，表示其K估值有較大的變異。估算模式中所利用到的葉片節位愈多，K值的變異性愈能獲得改善。台稉8號、台稉9號、台稉10號及台農67號之模式LW6的葉面積係數K估值分別爲0.92、0.96、0.90及0.94。

模式L1～L12分別爲模式LW1～LW12缺少最大葉寬之變數的簡化模式。根據模式L1之不同分蘗不同節位的K值估計結果，台稉8號、台稉9號、台稉10號及台農67號的葉面積係數分別在0.84~1.04、0.83~1.16、0.80~1.07及0.83~1.05之間，與模式LW1之配合結果比較，模式L1劍葉部份的K係數之CV值明顯較模式L1所得者高出很多，而其他節位葉片的K係數之CV值則相異不大（除

表2. 台稉8號，台稉9號，台稉10號及台農67號水稻品種以不同葉面積預測模式所估得之K係數估計值及其變異係數(CV)

Table 2. Estimates and coefficients of variation (CV) of the K coefficients for the rice cultivars Taikeng 8, Taikeng 9, Taikeng 10 and Tainung 67 from different predictive models of leaf area

Model[z]	Leaf position[y]	Tiller level[x]	Taikeng 8		Taikeng 9		Taikeng 10		Tainung 67	
			K	CV(%)	K	CV(%)	K	CV(%)	K	CV(%)
LW1	1	0	0.72	4.85	0.73	7.47	0.68	7.11	0.70	6.06
	1	1	0.73	4.96	0.74	4.96	0.70	5.27	0.72	9.78
	1	2	0.73	6.70	0.74	5.69	0.71	4.31	0.72	6.67
	2	0	0.71	4.59	0.76	4.42	0.71	7.48	0.71	4.35
	2	1	0.70	5.22	0.73	5.09	0.71	4.84	0.72	8.58
	2	2	0.70	8.05	0.70	8.93	0.69	7.26	0.71	9.27
	3	0	0.70	4.49	0.73	3.80	0.69	6.83	0.70	5.04
	3	1	0.70	4.90	0.71	5.77	0.71	5.58	0.72	7.53
	3	2	0.69	8.62	0.71	7.53	0.68	5.31	0.72	9.63
	4	0	0.70	4.34	0.72	6.77	0.66	9.78	0.71	11.55
	4	1	0.69	7.35	0.71	6.00	0.71	6.20	0.71	9.19
	4	2	0.72	13.66	0.70	6.99	0.68	7.63	0.70	8.20
	5	0	0.67	-	-	-	0.68	8.80	0.66	-
	5	1	0.70	2.89	0.73	3.32	0.69	8.71	0.74	6.94
	5	2	-	-	0.64	23.62	0.68	-	-	-
LW2	1	all	0.73	3.02	0.74	2.47	0.70	3.04	0.71	6.08
	2	all	0.70	2.35	0.72	2.45	0.71	2.31	0.72	2.86
	3	all	0.70	2.13	0.71	2.60	0.70	1.90	0.72	3.01
	4	all	0.69	3.81	0.70	3.27	0.70	2.65	0.71	3.28
	5	all	0.70	2.22	0.73	2.18	0.69	3.16	0.73	3.75
LW3	flag(1)	all	0.73	3.02	0.74	2.47	0.70	3.04	0.71	6.08
	lower	all	0.70	2.21	0.71	2.26	0.70	1.84	0.71	1.40
LW4	all	all	0.71	1.64	0.72	1.32	0.70	0.98	0.71	1.75
LW5	flag	all	3.07	14.26	3.15	30.64	3.19	8.14	3.00	13.67
LW6	lower	all	0.92	3.95	0.96	7.56	0.90	2.18	0.94	5.22
LW7	2	all	2.77	5.24	2.82	16.46	2.88	4.99	2.87	13.97
LW8	3	all	2.68	9.74	2.85	7.64	2.66	6.66	2.50	7.17
LW9	1,2	all	1.45	7.10	1.48	22.79	1.51	3.70	1.46	10.87
LW10	2,3	all	1.36	6.30	1.41	10.32	1.38	4.79	1.33	8.05
LW11	1,2,3	all	0.94	4.35	0.97	15.90	0.96	3.67	0.92	7.44
LW12	2,3,4	all	0.93	4.54	0.99	4.40	0.93	3.78	0.96	5.41
L1	1	0	1.04	7.07	1.16	7.57	1.04	8.63	1.05	11.22
	1	1	1.01	7.32	1.11	7.61	1.07	7.30	1.03	8.85
	1	2	0.94	8.31	1.02	10.35	0.97	11.04	0.96	7.84
	2	0	0.97	8.48	1.03	9.52	0.94	7.84	0.92	4.68
	2	1	0.92	9.13	0.98	12.06	0.96	6.86	0.91	8.03
	2	2	0.86	12.03	0.88	12.88	0.85	10.51	0.83	6.37
	3	0	0.94	6.89	1.00	10.65	0.92	6.18	0.90	10.21
	3	1	0.90	8.17	0.95	11.89	0.92	6.05	0.92	7.17
	3	2	0.85	9.39	0.88	9.96	0.85	5.84	0.86	7.33
	4	0	0.90	6.55	0.98	9.06	0.89	7.37	0.85	11.19
	4	1	0.88	7.78	0.94	11.15	0.91	7.60	0.88	8.91
	4	2	0.86	16.21	0.88	10.10	0.82	8.55	0.85	6.90
	5	0	0.85	-	-	-	0.90	8.04	0.77	-
	5	1	0.84	5.33	0.95	6.29	0.84	4.72	0.87	7.22
	5	2	-	-	0.83	14.63	0.80	-	-	-
L2	1	all	1.00	3.36	1.10	4.49	1.06	3.55	1.01	6.65
	2	all	0.91	8.52	0.97	10.82	0.95	4.77	0.90	4.60
	3	all	0.90	6.39	0.94	9.78	0.91	3.46	0.90	5.79
	4	all	0.88	4.87	0.93	7.25	0.90	3.86	0.87	5.92
	5	all	0.84	2.20	0.96	4.77	0.87	7.43	0.87	7.06
L3	flag(1)	all	1.00	3.36	1.10	4.49	1.06	3.55	1.01	6.65
	lower	all	0.90	5.90	0.94	8.37	0.92	2.87	0.89	4.37
L4	all	all	0.92	4.88	0.98	6.57	0.94	2.71	0.91	4.72
L5	flag	all	4.25	18.20	4.77	36.13	4.86	9.71	4.27	13.89
L6	lower	all	1.18	3.48	1.26	4.38	1.17	3.49	1.17	7.32
L7	2	all	3.59	6.70	3.83	24.87	3.84	4.57	3.58	13.48
L8	3	all	3.44	8.88	3.79	13.59	3.47	9.74	3.14	11.05
L9	1,2	all	1.94	11.53	2.12	29.80	2.14	4.88	1.94	11.20
L10	2,3	all	1.75	5.79	1.89	18.41	1.82	6.80	1.67	10.60
L11	1,2,3	all	1.23	7.54	1.35	23.19	1.32	5.30	1.19	9.29
L12	2,3,4	all	1.20	3.41	1.32	7.54	1.22	5.57	1.19	8.63

[z] Model defined as Table 1; [y] Leaf position counted from flag leaf downwards; [x] Tiller level =0 denotes the main culm.

第5葉以外，按此可能是因爲第5葉的葉數甚少，故無論葉長葉寬模式或葉長模式其變異均較大)。僅利用葉長來估計全株葉面積，其葉面積係數的CV值均較同時利用葉長和葉寬所得者爲高，即K估計值較不穩定，此在其他葉長模式（L2~L5, L7~L12）亦有一致發現。在不考慮分蘖變異而僅估算各節位葉片的模式L2中，台 稉8號、台 稉9號、台 稉10號及台農67號不同節位的葉片K值，分別在0.84~1.00、0.93~1.10、0.87~1.06及0.87~1.01之間，而且劍葉（第1葉）之K值明顯大於其他下位葉之K值。模式L3區分劍葉與下位葉並分別以葉長估計其全株葉面積，台 稉8號之劍葉及下位葉的K估值分別爲1.00及0.90，台 稉9號各爲1.10及0.94、台 稉10號各爲1.06及0.92，台農67號各爲1.01及0.89。若以全株所有葉片都建立一個共同的葉面積係數，並僅利用葉長來推估葉面積，則在模式L4下台 稉8號、台 稉9號、台 稉10號及台農67號的葉面積係數K估值，分別爲0.92、0.98、0.94及0.91。僅利用下位葉之葉長來推估全株葉面積的模式L6，四個品種之K值相近，在1.17~1.26之間。模式L5、L7、L8（僅需測量單一葉片的葉長）和模式L9、L10（同時測量兩片葉的葉長）雖然最爲省工，但其K係數之CV值卻甚高。除台 稉10號以外，利用含劍葉之前三片葉的葉長模式（模式L11），較利用不含劍葉之前三片下位葉的葉長模式（模式L12）所得之K估值有較大的變異。

二、模式預測能力的驗證

台 稉8號、台 稉9號、台 稉10號及台農67號之各種水稻葉面積預測模式利用第二年試驗資料所測驗之預測準確度，列如表3。所有品種僅以葉長來估算全株葉面積的預測準確度，明顯低於同時利用葉長和最大葉寬推估全株葉面積之預測準確度，其模式L1～L12的平均誤差、平均誤差率及預測誤差均方皆高於其相對應的模式LW1～LW12所得者。

在同時以葉長與最大葉寬所建立之估算模式（模式LW1～LW12）中，四個水稻品種的表現結果一致，隨著模式之簡化程度，其預測準確度亦隨之降低。四個品種皆以模式LW5僅以第1葉（劍葉）推估全株葉面積的省工模式的預測能力最差，而相較於其他模式，模式LW7、LW8之單葉模式的預測能力也不好。兩葉模式中，顯然利用劍葉和第一片下位葉之模式LW9，較利用第一、二片下位葉之模式LW10的預測能力爲差（除台 稉8號之差異不明顯以外）。三葉模式中，除了台 稉8號和台 稉10號以外，利用含劍葉之前三片葉之模式LW11，明顯地較利用不含劍葉之前三片下位葉之模式LW12的預測能力爲差。由於模式LW6僅測量所有下位葉，故其預測能力介於測量所有葉片之模式與其他部份葉片之省工模式之間。四個品種皆以模式LW1~LW4所預測的葉面積皆頗接近於實際測量的葉面積，其平均估算一株的預測誤差均小於100cm^2，平均誤差率皆在5%以下，此與統計上一般以5％爲顯著水準之第一型錯誤率(type I error)相吻合，顯示模式LW4雖簡化到全株僅含有一個K係數，但仍無損於其預測能力，其誤差率與最精確但複雜的模式LW1相近，均在可接受的程度之內。

若僅利用葉長來推估水稻的全株葉面積，雖有利於估算未完全展開葉片的葉面積，並方便田間實際操作以節省時間及人力，但模式的預測準確度卻不免降低，其平均誤差、平均誤差率及預測誤差均方皆較葉長與葉寬模式爲高。其中以模式L1~L4, L6, L8及L12所預測的平均誤差率可在10%以內，若進而比較平均誤差及預測誤差均方，由於模式L8的平均誤差及預測誤差均方均甚高，因此在省工的葉長模式中僅有模式L1~L4, L6及L12之預測能力爲尚可接受程度之內（以預測誤差率不低於10%而言）。而四個品種皆以模式L4之誤差率與最精確但複雜的模式LW1相近。

三、模式應用性的評估

雖然水稻劍葉和下位葉的葉相往往有很大的差異，如表4所示，四個品種的下位葉顯然均較劍葉的葉形狹長且葉面積較大，因此區分劍葉和下位葉的模式LW3，當較模式LW1之區分所有節位和分蘖之葉片，以及模式LW2之區分所有節位葉片，不但模式更簡化，較經濟省工，同時所獲得的預測能力也相差無幾（表3)。但模式LW3中所含有的估算介量仍有兩個，此與模式LW4之僅有一個估算介量相比較，則未必實用。由於全株葉面積最適模式的選擇，不但須要求準確性高，也希望估算式中所含

表3. 台稉8號，台稉9號，台稉10號及台農67號水稻品種之葉面積估算模式之預測準確度的比較

Table 3. Comparison of accuracy of prediction models in estimating total plant leaf area of the rice cultivars Taikeng 8, Taikeng 9, Taikeng 10 and Tainung 67

Cultivar / TLAm[y] (cm^2)	Model[z]	TLAe[y] (cm^2)	MD[x] (cm^2)	MSEP[x]	MPD[x] (%)	Model	TLAe (cm^2)	MD (cm^2)	MSEP	MPD (%)
Taikeng 8 1883.6	*LW1*	1861.1	35.3	2280	1.86	*L1*	1930.6	70.1	7856	3.97
	LW2	1858.8	36.2	2367	1.91	*L2*	1941.5	73.7	8940	4.18
	LW3	1864.5	33.8	2129	1.78	*L3*	1947.4	77.3	9633	4.37
	LW4	1869.1	32.5	1985	1.75	*L4*	1935.4	69.9	8140	3.90
	LW5	2224.7	341.6	174122	20.47	*L5*	2296.3	412.7	234315	24.80
	LW6	1755.2	128.4	23494	7.58	*L6*	1844.9	77.2	10263	4.58
	LW7	1763.1	150.5	35879	8.72	*L7*	1902.7	100.9	22901	6.72
	LW8	1765.8	162.9	37100	9.73	*L8*	1844.6	143.6	32108	8.80
	LW9	1973.7	106.0	25984	7.01	*L9*	2076.4	195.0	62011	12.35
	LW10	1761.7	135.4	24211	7.42	*L10*	1865.9	88.7	13334	5.03
	LW11	1898.8	66.3	7550	4.05	*L11*	1976.0	107.8	21993	6.75
	LW12	1739.2	144.4	28671	8.37	*L12*	1837.7	85.5	12220	4.95
Taikeng 9 2267.8	*LW1*	2319.2	98.1	19287	4.22	*L1*	2333.9	110.0	15907	4.91
	LW2	2311.9	96.8	18155	4.18	*L2*	2365.2	136.2	22260	6.09
	LW3	2307.9	96.4	17630	4.17	*L3*	2348.2	123.6	19082	5.52
	LW4	2313.3	97.6	18486	4.21	*L4*	2348.5	119.1	17423	5.30
	LW5	2811.3	562.7	381808	25.34	*L5*	2847.5	645.0	513134	29.35
	LW6	2227.6	160.4	32764	7.12	*L6*	2267.4	68.3	6425	3.05
	LW7	2526.2	292.7	126706	12.98	*L7*	2665.2	419.7	221096	18.98
	LW8	2326.9	156.0	33671	6.95	*L8*	2408.6	197.0	58381	8.66
	LW9	2646.7	383.0	183251	17.24	*L9*	2740.8	509.0	309367	23.14
	LW10	2414.3	168.1	46588	7.42	*L10*	2516.4	273.8	98224	12.32
	LW11	2526.6	262.2	90061	11.68	*L11*	2603.3	368.1	167456	16.67
	LW12	2259.8	122.1	20785	5.44	*L12*	2338.1	108.0	15506	4.76
Taikeng 10 1954.0	*LW1*	1909.4	52.3	4546	2.47	*L1*	1892.9	97.9	18520	4.58
	LW2	1909.8	51.1	4363	2.42	*L2*	1915.1	93.0	15169	4.47
	LW3	1904.5	53.7	4890	2.54	*L3*	1920.7	91.5	14516	4.07
	LW4	1904.5	53.7	4890	2.54	*L4*	1905.3	94.2	15590	4.50
	LW5	1889.9	141.3	36947	6.74	*L5*	1941.8	165.1	44447	8.15
	LW6	1915.5	54.7	4256	2.76	*L6*	1904.0	85.9	13156	4.11
	LW7	1880.4	99.1	17831	4.95	*L7*	1895.9	118.4	24359	5.79
	LW8	1875.5	112.4	22416	5.55	*L8*	1860.4	144.6	36736	7.11
	LW9	1880.5	105.9	21046	5.06	*L9*	1911.6	131.9	29930	6.44
	LW10	1874.0	97.4	15947	4.83	*L10*	1874.4	129.5	28715	6.32
	LW11	1872.4	104.7	19175	5.02	*L11*	1886.8	132.4	30945	6.44
	LW12	1863.0	101.5	15329	5.02	*L12*	1860.4	118.0	25050	5.69
Tainung 67 2099.5	*LW1*	2101.9	48.9	3225	2.38	*L1*	1982.0	121.3	22290	5.51
	LW2	2099.9	48.8	3179	2.38	*L2*	1987.1	117.5	20866	5.37
	LW3	2083.4	51.8	3420	2.52	*L3*	1983.0	121.3	21867	5.55
	LW4	2083.4	51.8	3420	2.52	*L4*	1962.2	139.3	27535	6.41
	LW5	2404.8	328.3	151431	15.71	*L5*	2273.7	204.7	70649	10.04
	LW6	2004.8	100.1	17138	4.65	*L6*	1899.9	201.1	54878	9.32
	LW7	2277.2	281.8	112792	13.91	*L7*	2159.8	206.1	57899	10.18
	LW8	2045.8	413.0	32761	6.66	*L8*	1933.4	201.8	66890	9.31
	LW9	2328.7	287.3	111821	13.99	*L9*	2203.4	184.7	50759	9.16
	LW10	2143.6	146.9	33378	7.19	*L10*	2035.8	153.9	35393	7.21
	LW11	2220.3	178.6	46179	8.79	*L11*	2084.3	148.6	28462	7.07
	LW12	2028.8	81.4	11703	3.77	*L12*	1912.8	188.8	48217	8.74

[z] Model defined as Table 1.

[y] TLAm= measured total leaf area per plant; TLAe= estimated total leaf area per plant from predictive model.

[x] MD= mean deviation; MSEP= mean squared error of prediction.; MPD= mean percentage of deviation.

表4. 台粳8號，台粳9號，台粳10號及台農67號水稻品種之葉長(L)、最大葉寬(W)、長寬比(L/W)及單葉面積(LA)[z]

Table 4. Length (L), maximum width (W), ratio of L/W, area (LA) of individual leaf for the rice cultivars Taikeng 8, Taikeng 9, Taikeng 10 and Tainung 67[z]

Leaf trait	Leaf position	Taikeng 8		Taikeng 9		Taikeng 10		Tainung 67	
		Mean	SE[y]	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
L (cm)	flag (1)	36.49	0.26	33.94	0.24	31.85	0.22	32.32	0.25
	lower	40.45	0.11	40.11	0.10	42.50	0.13	39.06	0.11
	2	38.39	0.18	40.11	0.20	39.62	0.26	36.96	0.21
	3	40.84	0.15	39.44	0.15	44.26	0.17	40.38	0.13
	4	42.52	0.19	40.98	0.18	44.38	0.21	40.61	0.18
	all	39.18	0.11	38.42	0.11	39.87	0.15	37.19	0.12
W (cm)	flag (1)	1.34	0.01	1.48	0.01	1.48	0.01	1.47	0.01
	lower	1.23	0.01	1.29	0.01	1.30	0.01	1.29	0.01
	2	1.22	0.01	1.29	0.01	1.32	0.01	1.29	0.01
	3	1.24	0.01	1.29	0.01	1.31	0.01	1.31	0.01
	4	1.24	0.01	1.30	0.01	1.29	0.01	1.27	0.01
	all	1.26	0.01	1.34	0.01	1.35	0.01	1.34	0.01
L/W	flag (1)	27.32	0.19	23.16	0.17	21.56	0.14	22.04	0.15
	lower	32.93	0.09	31.27	0.09	32.83	0.10	30.49	0.09
	2	31.59	0.17	31.39	0.17	30.19	0.19	28.81	0.16
	3	33.08	0.12	30.88	0.13	34.03	0.15	31.15	0.13
	4	34.32	0.14	31.67	0.14	34.51	0.15	32.18	0.17
	all	31.44	0.10	29.05	0.10	30.04	0.13	28.15	0.11
LA (cm^2)	flag (1)	36.55	0.35	37.14	0.34	34.36	0.35	34.82	0.37
	lower	35.17	0.14	36.51	0.16	39.47	0.18	36.01	0.15
	2	33.51	0.23	37.18	0.27	37.86	0.35	34.14	0.26
	3	35.68	0.23	35.51	0.24	41.03	0.27	37.68	0.21
	4	36.72	0.27	36.87	0.31	40.67	0.33	36.76	0.28
	all	35.54	0.14	36.68	0.15	38.21	0.17	35.68	0.15

[z] Combined across two years.

[y] SE: standard error of mean.

有的估算介量能最少，因此在以葉長與最大葉寬之乘積直接乘上一個係數（模式LW4），所含的模式介量最少，僅有一個，且平均誤差率在5％以內（表3），應是最具有實用之價值。若在田間期能以最快速經濟的方法估得葉面積，或擬有效估算未完全展開葉片的葉面積（此無法準確測量到最大葉寬），則估算式中僅能含有葉長變數，因此以葉長直接乘上一個係數（模式L4），當可收效，但多少會犧牲一些準確度，尤以台 稉9號及台農67號最爲明顯，但平均誤差率仍在6.5％以內（表3）。

所建立之模式若針對植株的所有葉片都進行測量，固然可信度極高，卻相當耗時費力，在不嚴重影響準確度下，例如僅測量某節位的葉片來估算全株葉面積，當更有利於田間非破壞性取樣調查工作。水稻在抽穗後很容易從外觀將所有葉片區分爲劍葉和下位葉，劍葉寬短而下位葉狹長（表4），因此利用劍葉或下位葉之葉面積來推估植株上所有葉片的面積，或許可行。但由上述驗證各模式之預測

能力的分析結果（表3），發現僅利用劍葉來推估全株葉面積的估算式（模式LW5或L5），不如僅利用下位葉（模式LW6或L6）的效果爲好，這是因爲劍葉只有一葉，如表5所示各品種之劍葉對全株葉面積的貢獻約僅22~29％，因此以極少數相異葉相的葉片來預測全株葉面積，自然較不準確。反之，下位葉佔全株葉面積均高達71％以上（表5），且其葉長和葉寬與平均所有葉片的葉長和葉寬也比較相近（表4），故其用以預測全株葉面積的效果較好。

表5. 台稉8號，台稉9號，台稉10號及台農67號水稻品種各節位葉片之葉面積佔全株葉面積之比例 (%)[z]

Table 5. Relative ratio (%) of individual leaf area to the total plant leaf area for the rice cultivars Taikeng 8, Taikeng 9, Taikeng 10 and Tainung 67[z]

Leaf position	Relative ratio (%) of leaf area to the total plant leaf area			
	Taikeng 8	Taikeng 9	Taikeng 10	Tainung 67
flag (1)	28.12	28.31	22.33	26.93
2	24.83	27.72	24.22	26.36
3	24.61	24.92	25.86	27.73
4	21.15	17.67	23.78	18.13
5	3.21	3.46	4.39	3.20
1+2	52.96	56.03	46.56	53.29
2+3	49.45	52.64	50.08	54.09
1+2+3	77.57	80.95	72.41	81.02
2+3+4	70.59	70.31	73.86	72.22
lower (2+3+4+5)	71.88	71.69	77.67	73.07

[z] Combined across two years.

但下位葉的數目在抽穗期間大致維持4～5葉，若能進而只利用其中部份葉片，如以第2葉（第一片下位葉）或第3葉（第二片下位葉）來預測全株葉面積，當可更爲快速簡便；由表3之預測能力驗證結果得知，利用第2葉（模式LW7或L7）及第3葉（模式LW8或L8）的效果固然較利用劍葉（模式LW5或L5）稍有改善，但預測能力仍然很差。雖然第1～2葉和第2～3葉之兩片葉均佔全株葉面積的比例約50％左右（表5），但台稉9號及台農67號的模式LW9（或L9）之預測準確度卻遠低於模式LW10（或L10）（表3），這是因爲該兩品種之模式LW9及L9所估得的K係數估計值相當不穩定所致（表2）。同樣的現象，也發生在台稉9號之利用前三片葉的葉長及葉寬模式，其模式LW11（或L11）較LW12（或L12）之預測能力爲差（表3）。顯然，同樣是利用兩片葉或三片葉來推估全株葉面積，其中含或不含劍葉的預測效果就某些品種而言卻有不同；按試驗觀察所得，即發現這些品種的劍葉在不同分蘗之間有較大的葉形變異，雖然其葉寬相近但葉長變異甚大，此造成劍葉K係數估值有較大的變異，並進而影響了利用劍葉推估全株葉面積的預測準確度。因此，利用部份葉片來預測水稻全株葉面積時，含劍葉的預測效果有時候會比不含劍葉者爲差。

同樣是利用同一節位的葉片，但同時測量葉長葉寬與僅測量葉長的預測效果也不一致，究其原因，主要在於各節位之葉相有異（如表4之所示，以劍葉最寬短，第2葉其次，而第3、4葉最狹長）。由於葉相上的差異，利用單葉來估計全株葉面積時，宜同時測量葉長與葉寬，始能改進單葉模式的預測能力。

但僅由單葉來估算全株葉面積，所得K係數之CV值通常較高（表2），表示K估計值並不穩定，

表6. 台稉8號，台稉9號，台稉10號及台農67號水稻品種以平均K值建立模式LW4, LW6, LW10, LW12, L4, L6, L12之葉面積預測準確度的比較

Table 6. Comparison of accuracy of predicting total leaf area for the rice cultivars Taikeng 8, Taikeng 9, Taikeng 10 and Tainung 67 from the models LW4, LW6, LW10, LW12, L4, L6, L12 using the mean K coefficient

Model[z]	mean K[y]		Taikeng 8	Taikeng 9	Taikeng 10	Tainung 67
		TLAm[x](cm^2)	1883.6	2267.8	1954.0	2099.5
LW4	0.71 ± 0.01	TLAe[x](cm^2)	1869.1	2281.1	1931.7	2083.4
		MD[w](cm^2)	32.5	100.8	42.3	51.8
		MSEP[w]	1985	15795	2672	3420
		MPD[w](%)	1.75	4.42	2.06	2.52
LW6	0.93 ± 0.03	TLAe (cm^2)	1774.3	2158.0	1979.3	1983.5
		MD(cm^2)	111.1	172.4	45.9	119.2
		MSEP	19306	39905	3542	21670
		MPD (%)	6.66	7.80	2.38	5.54
LW10	1.37 ± 0.04	TLAe (cm^2)	1774.7	2345.8	1860.5	2208.1
		MD(cm^2)	126.5	128.4	105.7	168.1
		MSEP	21315	29407	18403	44753
		MPD (%)	6.94	5.76	5.23	8.30
LW12	0.95 ± 0.03	TLAe (cm^2)	1776.6	2168.5	1903.1	2007.7
		MD(cm^2)	115.2	141.7	80.1	95.8
		MSEP	19907	27793	9442	15201
		MPD (%)	6.78	6.48	4.01	4.43
L4	0.94 ± 0.03	TLAe (cm^2)	1977.5	2252.7	1905.3	2026.9
		MD(cm^2)	99.6	73.4	94.2	91.1
		MSEP	14310	10740	15590	13499
		MPD (%)	5.53	3.23	4.50	4.14
L6	1.20 ± 0.04	TLAe (cm^2)	1876.1	2159.4	1952.8	1948.6
		MD(cm^2)	72.8	110.5	78.5	159.2
		MSEP	9284	17087	10126	37526
		MPD (%)	4.33	5.00	3.93	7.34
L12	1.23 ± 0.06	TLAe (cm^2)	1883.7	2178.7	1875.7	1977.1
		MD(cm^2)	84.3	98.9	111.7	134.4
		MSEP	10791	17411	22178	27890
		MPD (%)	4.89	4.36	5.41	6.16

[z] Model defined as Table 1.

[y] mean ± standard deviation of the K coefficients, that obtained from the 4 cultivars.

[x] TLAm= measured total leaf area per plant; TLAe= estimated total leaf area per plant from predictive model.

[w] MD= mean deviation; MSEP= mean squared error of prediction; MPD= mean percentage of deviation.

此多少會影響預測模式的準確度。因此，在兼顧預測準確度及操作簡便性下，利用兩、三個葉片的簡化模式，較具有實用價值，如模式LW10之利用前兩片下位葉及模式LW12之利用前三片下位葉。利用所有下位葉之模式LW6的預測準確度與LW12相近（表3），卻必須多測量第5片葉，由於水稻在抽穗後植株各分蘗第5葉的數目其實很少，有些品種甚至最多只維持4片葉，因此就實際應用立場而言，模式LW12較LW6更符合省工之要求。不過由於模式L10及L12僅測量葉長，無法將葉相的差異性納入模式中，故預測效果不理想，但若是降低預測準確度之要求，則四個品種的葉長模式L12之預測能力

可在平均誤差率10%以內（表3）。

四、品種效應對模式的影響

由於二十四種模式中以模式LW4、LW6、LW10、LW12、L4、L6及L12之預測能力較好且具有應用價值，故進而探討品種效應對該七種模式的影響。該七種模式之葉面積係數K的估計值在不同品種之間雖有差距但變異不大（表2），故平均所有品種之K值，並利用此共同K值估算各品種的全株葉面積。七種模式平均四個品種所得之K值及其預測能力，列於表6。由表6可知，以模式LW4之K值在品種間的變異最小，標準機差僅±0.01，故以模式LW4之共同K值（0.71）所預測全株葉面積的效果最好，平均誤差率可在5%以下，而其他模式若以平均品種之共同K值來估算全株葉面積，則有些品種的預測效果會明顯變差，但平均誤差率都在10%以下。

除了考慮預測準確度外，最適模式的選擇還應該兼顧其實用性。在滿足試驗探討之目的下，愈容易操作愈是理想。若擬評估的基因型數甚多（例如育種施行程序中的試驗），對於本試驗之四個水稻品種而言，可以利用所有葉片的葉長和最大葉寬直接乘以一個0.71的平均K值來共同估計其全株葉面積，此係數與基因型種類無關。若參試基因型有限但取樣植株很多時（例如評估環境因素對生長之影響），使用更省工省時的模式是有必要的，像是僅利用部份葉片來推估全株葉面積之模式，但必須注意的是，僅測量部份葉片之葉長的模式並無法將葉相的差異性納入模式中而導致預測能力變差，因此必須同時測量葉長及最大葉寬。從操作簡易的觀點來看，估算葉面積時所需測量的葉數愈少愈好，但模式中包含有較多不同節位的葉片可縮小K估計值的變異性，而使模式的預測效果更值得信賴。因此若欲在部份葉片之葉長葉寬模式之間作一選擇，宜優先考慮模式LW6或LW12，其次為模式LW10。至於僅測量葉長的模式中，可以優先考慮模式L4，其次才是模式L6或L12；在田間實際操作時，葉長的測量會比最大葉寬簡單且準確得多，同時有利於估算未完全展開葉片的葉面積。但是使用這些可以省工省時之簡便模式時，預測準確度之犧牲在所難免。由於一般而言水稻各節位葉片長度間的相對關係有明顯的品種間及期作間差異[4]，本試驗四個水稻品種在二期作之不同環境條件下，是否與本試驗一期作下各估算模式所獲結論一致，限於篇幅，將留待下一篇報告討論。

誌　　謝

本研究承蒙本所農藝系生理研究室提供水稻試驗材料，特此誌謝。

引用文獻

1. 柯建全、張山蔚、黃膺任。1999。利用影像處理鑑定害蟲之危害度：毛豆葉片。嘉義技術學院學報 63:123-133。
2. 陳烈夫、呂椿棠、呂秀英、賴吉雄。1993。水田檳榔心芋葉面積之簡易估算法。中華農業研究 42:162-172。
3. 郭益全、李長沛。1994。水稻劍葉長與寬之遺傳(英文)。中華農業研究 43:123-134。
4. 張富洲、劉大江。1991。水稻分櫱之生理研究（四）不同節位葉片形態性狀與稻穀產量間之相關。中華農藝 1:21-34。
5. 蕭柊瓊、劉清。1986。玉米單葉面積與全株葉面積之簡易估算法。中華農業研究 35:276-282。
6. Acharya, D., P. Chattopadhyay, and S. Dana. 1984. Correlations and inheritance of primary leaf size in mungbean. Indian J. Genet. 44:121-126.
7. Beerling, D. J., and J. C. Fry. 1990. A comparison of the accuracy, variability and speed of five different methods for estimating leaf area. Ann. Botany. 65:483-488.
8. Blaise, M. O., and P. Girardin. 1992. Use of mean square error of prediction for crop model evaluation: the case of leaf area estimation. Eur. J. Agron. 1:147-153.
9. Daughtry, C. S. T., and S. E. Hollinger. 1984. Costs of measuring leaf area index of corn. Agron. J. 76:836-841.
10. Francis, C. A., J. N. Rutger, and A. F. E. Palmer. 1969. A rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays* L.). Crop Sci. 9:537-539.

11. Kato, M., K. Inthavogsa, and K. Imai. 1989. An estimation of leaf area in edible canna (*Canna edulis* Ker.). Japan. J. Crop Sci. 58:753-754.

12. Krishnamurthy, K., M. K. Jagannath, B. G. Rajashekrara, and G. Raghunatha. 1974. Estimation of leaf area in grain sorghum from single leaf measurements. Agron. J. 66:544-545.

13. Ma, L., F. P. Gardner, and A. Selamat. 1992. Estimatiion of leaf area from leaf and total mass measurements in peanut. Crop Sci. 32:467-471.

14. Milford, G. F. J., and J. Riley. 1980. The effects of temperature on leaf growth of sugar beet varieties. Ann. Appl. Biol. 94:431-443.

15. Montgomery, E. G. 1911. Correlation studies in corn. Nebr. Agric. Exp. Stn. Ann. Rep., 24:108-159.

16. Mungse, H. B., P. N. Harer, A. C. Gaikward, and G. Harinarayana. 1983. Estimation of leaf area in foxtail millet. J. Maharashtva Agric. Univ. 8:293-294.

17. Palaniswamy, K. M., and K. A. Gomez. 1974. Length-width method for estimating leaf area of rice. Agron. J. 66:430-433.

18. Payne, W. A., C. W. Wendt., L. R. Hossner, and C. E. Gates. 1991. Estimating pearl millet leaf area and specific leaf area. Agron. J. 83:937-941.

19. Pearce, R. B., J. J. Mock, and T. B. Bailey. 1975. Rapid method for estimating leaf area per plant in maize. Crop Sci. 15:691-694.

20. Persaud, N., M. Gandah, M. Ouattara, and N. Mokete. 1993. Estimating leaf area of pearl millet from linear measurements. Agron. J. 85:10-12.

21. SAS User's Guide: Statistics. 1988. Mc:SAS Institute Inc.

22. Schneiter, A. A. 1978. Non-destructive leaf area estimation in sunflower. Agron. J. 70:141-142.

23. SigmaScan & SigmaScan Pro User's Manual. 1995. Jandel Scientific Cor.

24. Singh, S. N., O. P. Jain, S. Singh, and H. Daynand. 1984. Studies on estimation of leaf area in maize. Indian J. Agron. 402-405.

25. Stickler, F. C., S. Wearden, and A. W. Pauli. 1961. Leaf area determination in grain sorghum. Agron. J. 53:187-188.

26. Van Arkel H. 1978. Leaf area determinations in sorghum and maize by the length width method. Neth. J. Agric. Sci. 26:170-180.

27. Wiersma, J. V, and T. B. Bailey. 1975. Estimating of leaflet, trifoliolate, and total leaf areas of soybeans. Agron. J. 67:26-30.

A Comparison of the Accuracy and Applicability of Different Models for Non-destructive Leaf Area Estimation in Rice[1]

Lit-Fu Chan[2] , Hsiu-Ying Lu[3], Meng-Li Wei[3], and Chun-Tang Lu[3]

Summary

Plant leaf area is a useful observation in physiological and agronomic research. The development of a model for leaf area estimation requires a non-destructive method which is reliable and rapid. The objective of this study was to test twenty-four models for leaf area prediction in rice. Relationships between leaf area and a leaf area coefficient are used, but the coefficients K do not have the same dimension in all models. Some models require the measurement of both the length and the maximum width, others only use the length. Some models require the measurement of all plant leaves, others only measure a few number of leaves. Four rice cultivars, Taikeng 8, Taikeng 9, Taikeng 10 and Tainung 67 were used for model development. Experimental results indicated that different coefficients need not to be calculated depending on leaf position and tiller position. This model predicts the leaf area of an individual plant most accurately, but requires extra time and effort. It seemed that the leaf morphology differ from flag and lower leaves in rice plants, but it is not necessary to use the different K values to predict the total leaf area of an individual plant. The choice of a model depends mainly on the objectives of the investigation. If a large number of genotypes had to be evaluated (e.g. in a breeding programme), an overall average K value of 0.71 from the model with length and width measurements can be used for total leaf area prediction irrespective of the genotype considered. If a limited number of genotypes are studied but a large number of plants are sampled (e.g. to evaluate the influence of environmental factors upon growth), the models consuming less time and effort can be used. These models use the length and width of a few number of leaves (e.g. all the lower leaves, the 2nd~4th leaves or the 2nd~3rd leaves) only, or even require the measurement of length only for all the leaves, all the lower leaves or the first three lower leaves. The more rapid methods provided low accurate estimate of leaf area. The measurement of length is easier under field conditions than width and can be easily extended to the area estimation for non-expanded leaves.

Key words ：Rice, Leaf area, Non-destructive measurement, Accuracy of Prediction, Model.

---

1. Contribution No.2031 from Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture.

2. Research Assistant, Office of Farm Management, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

3. Respectively, Senior Statistician, Assistant Agronomist, and Assistant Agronomist, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.